

Acoustic apparatus.

Patent Number: EP0322679
Publication date: 1989-07-05
Inventor(s): YOKOYAMA KENJI
Applicant(s):: YAMAHA CORP (JP)
Requested Patent: JP1302998
Application Number: EP19880121118 19881216
Priority Number(s): JP19870334263 19871228
IPC Classification: H04R1/28

Abstract

An acoustic apparatus comprises a resonator, a vibrator, and a vibrator drive circuit for an improved bass sound reproduction. The resonator has a resonance radiation unit for radiating an acoustic wave by resonance, and the vibrator has a diaphragm constituting a part of the resonator and disposed in the resonator. The vibrator drive circuit for driving the vibrator has a negative impedance component in an output impedance, and a reaction from the resonator to the diagram is canceled upon driving of the resonator. Accordingly, the presence of the vibrator is invalidated as viewed from the resonator, and the vibrator and the resonator can be independently designed. As a result, the resonator can be realized in a compact size, and the resonance acoustic wave can be radiated powerfully.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A) 平1-302998

⑫ Int. Cl. 4

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)12月6日

H 04 R 1/28
13/00
17/00
19/00

3 1 0

Z-7314-5D
6911-5D
M-7923-5D
6911-5D

審査請求 未請求 発明の数 1 (全 20 頁)

⑭ 発明の名称 音響装置

⑮ 特 願 昭62-334263

⑯ 出 願 昭62(1987)12月28日

⑰ 発 明 者 横 山 健 司 静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

⑱ 出 願 人 ヤマハ株式会社 静岡県浜松市中沢町10番1号

⑲ 代 理 人 弁理士 長谷川 芳樹 外3名

明 細 書

1. 発明の名称

音響装置

2. 特許請求の範囲

1. 共鳴による音響を放射するための共鳴放射部を有する共鳴器と、

この共鳴器の一部を構成する振動体を有し、前記共鳴器に配設される振動器と、

前記共鳴器の駆動時に当該共鳴器から前記振動板への反作用を打ち消すように前記振動器を駆動する振動器駆動手段と、

を備えることを特徴とする音響装置。

2. 前記共鳴器は開口部を有するヘルムホルツ共鳴器であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

3. 前記開口部は筒状のネックを有することを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の音響装置。

4. 前記振動器は動電形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

5. 前記振動器は電磁形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

6. 前記振動器は静電形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

7. 前記振動器は圧電形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

8. 前記振動器駆動手段が、出力インピーダンス中に等価的に負性インピーダンス成分を発生する負性インピーダンス発生手段を有することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

9. 前記負性インピーダンス発生手段が、前記振動器の駆動電流に対応する信号を前記振動器駆動手段の入力側に正帰還して等価的に負性インピーダンス成分を発生するよう構成されているこ

とを特徴とする特許請求の範囲第8項記載の音響装置。

10. 前記負性インピーダンス発生手段が、出力インピーダンス中に等価的に負性抵抗成分を発生するように構成されていることを特徴とする特許請求の範囲第9項記載の音響装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

この発明は、共鳴器を音響放射体として用いた音響装置に関するものである。

〔従来の技術〕

音響装置では、共鳴現象が種々の形で利用されている。第29図ないし第32図はその代表例を示している。

第29図の第1の従来例において、共鳴器1は仕切壁2によってA室とB室の2室に区切られ、仕切壁2の穴には振動器として、動電形電気音響変換器（ダイナミックスピーカ）3が取り付けられている。また、A室とB室にはそれぞれ開口ダ

クト4a、4bが設けられ、ここから共鳴音響が矢印のように外部へ放射されるようになっている。A室およびB室は、それぞれ空洞の容積や開口ダクト4a、4bの寸法などで定まる共鳴周波数 $f_{0a}(Hz)$ および $f_{0b}(Hz)$ を持っている。従って、スピーカ3が図示しない増幅器などで駆動されると、振動板の振動によって共鳴現象が生じ、そのときの出力エネルギーは上記の共鳴周波数近傍で最大になる。その結果、例えば第30図に示すような音圧の周波数特性を持った共鳴音響を得ることができる。

第31図の第2の従来例において、箱体5によって構成される共鳴室5'には、振動器としての動電形電気音響変換器（スピーカ）6が取り付けられると共に、共鳴音響を外部へ放射するための開口7が形成される。一方、箱体5には動電形電気音響変換器（スピーカ）8が別個に設けられ、ここから音響が外部へ直接放射されるようになっている。このような音響装置においても、スピーカ6が図示しない増幅器で駆動されると、振動板

— 3 —

の振動により共鳴室5'で共鳴現象が生じる。従って、開口7からは共鳴室5'に固有の共鳴周波数 f_0 近傍の音圧をピークとして、第32図に示すような音響再生がなされる。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかしながら、従来の音響装置によると、振動器により音響放射体としての共鳴器の共振のQ値が低下するという問題があった。これは、振動器としてのスピーカには固有の内部インピーダンス Z_v があるためであり、これが共鳴器の共振を制動する要素となっているからである。このように共振のQ値が低いと、共鳴音響の放射能力は必然的に低くなり、音響装置としての意義は小さくなる。

また、共鳴器を小形化しながら、共鳴周波数を低くしようとする、開口ダクトは細くかつ長くなければならない。すると、開口ダクトの音響抵抗（機械抵抗）が必然的に大きくなり、共振のQ値はますます低下してしまう。このため、共振のQ値の低下によって音響放射能力が更に低下し、

— 4 —

音響装置としての現実的な用途には適しないものとなる。

その結果、第29図および第31図に示す従来装置では、いずれも十分な音響放射能力を有しておらず、またこの能力をある程度確保しようとすると、キャビネットが極めて大形化することは避けられなかった。

そこで、この発明は、十分な音響放射能力を実現することができ、しかも小形化が可能な音響装置を提供することを目的とする。

〔問題点を解決するための手段〕

この発明の音響装置は、共鳴による音響を放射するための共鳴放射部を有する共鳴器と、この共鳴器の一部を構成する振動体を有し、共鳴器に配設される振動器と、共鳴器の駆動時に当該共鳴器から振動板への反作用を打ち消すように振動器を駆動する振動器駆動手段とを備えることを特徴とする。

〔作用〕

この発明によれば、振動器駆動手段により、振

— 5 —

— 6 —

動器が共鳴器からの反作用を打ち消すように駆動されるため、振動板は等価的に共鳴器の壁となり、共鳴器から見たときの振動器の存在が無効化され、従って振動器に固有の内部インピーダンスが共鳴器の共振のQ値を低下させる要因とはならなくなる。このため、共鳴器の共振のQ値は極めて高くなる。従って、共鳴器を小形化し、かつ共鳴周波数を低くすることにより、共鳴器としての音響抵抗が大きくなって通常の駆動方式では共振のQ値が非常に小さくなるような場合でも、この発明では振動器により共振のQ値の低下はないので、結果としての共振のQ値は十分に高い値に維持することができ、共鳴器として十分な音響放射能力を確保することができる。

以上のことから、共鳴音響の放射能力の向上と、共鳴器の小形化とを同時に達成することが可能になる。

〔実施例〕

以下、添付の第1図ないし第28図を参照して、この発明の実施例を説明する。なお、図面の説明

において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

第1図は、この発明の一実施例の基本的構成を示している。同図(a)のように、この実施例では共鳴器として、共鳴放射部をなす開口ポート11およびネック12を有するヘルムホルツ共鳴器10を用いている。このヘルムホルツ共鳴器10においては、閉じられた空洞と、開口ポート11およびネック12による短い管とによって空気の共鳴現象が生じる。そして、この共鳴周波数 f_{op} は

$$f_{op} = c (S / \ell V)^{1/2} / 2\pi \quad \dots (1)$$

として求められる。ここで、

c : 音速

S : 開口ポート11の断面積

ℓ : 開口ポート11のネック12の長さ

V : ヘルムホルツ共鳴器10の空洞の体積である。

この実施例の音響装置では、これに振動板21および変換器22からなる振動器20を取り付け

- 7 -

ている。そして、この変換器22は振動器駆動装置30に接続され、これは出力インピーダンス中に等価的に負性インピーダンス成分 $(-Z_0)$ を発生させる負性インピーダンス発生部31を具備している。

この音響装置の電気的等価回路の構成は、第1図(b)のようになっている。ここで、並列共振回路 Z_1 は振動器20の等価モーショナルインピーダンスによるものであり、 r_0 は振動系の等価抵抗を示し、 S_0 は振動系の等価ステフネスを示し、 m_0 は振動系の等価質量を示している。また、直列共振回路 Z_2 は開口ポート11を含むヘルムホルツ共鳴器10の等価モーショナルインピーダンスによるものであり、 r_c は共振器の空洞の等価抵抗を示し、 S_c は空洞の等価ステフネスを示し、 r_g は開口ポートの等価抵抗を示し、 m_g は開口ポートの等価質量を示している。また、図中の A は力係数であり、例えば振動器が動電形電気音響変換器(スピーカ)であるときには、 B を磁気ギャップ中の磁束密度、 l をボイスコイル導体

- 8 -

の長さとする、 $A - B l$ となる。さらに、図中の Z_v は変換器22の固有の内部インピーダンスであり、例えば振動器が動電形スピーカであるときには、主としてボイスコイルの直流抵抗となり、わずかながらインダクタンスを含んでいる。

次に、第1図に示す構成の音響装置の作用を簡単に説明する。

負性インピーダンス駆動機能を有する振動器駆動装置30から、振動器20の変換器22に駆動信号が与えられると、変換器22はこれを電気機械変換し、振動板21を前後(図中の左右)に往復駆動しこれを機械音響変換する。ここで、振動器駆動装置30は負性インピーダンス駆動機能を有しているが故に、変換器22に固有の内部インピーダンスは実効的に減少化(理想的には無効化)されている。従って、変換器22は振動器駆動装置30からの駆動信号に忠実に応答して振動板21を駆動し、ヘルムホルツ共鳴器10に対して駆動エネルギーを与える。

このとき、振動板21の前面側(図中の右面側)

- 9 -

- 10 -

には、ヘルムホルツ共鳴器 10 の空洞内の空気からの反作用が加わるが、振動器駆動装置はこの反作用を打ち消すように振動器 20 を駆動する。これは、振動器 20 の変換器 22 固有の内部インピーダンス Z_v が等価的に無効化されているためであり、従って、振動板 21 はヘルムホルツ共鳴器 10 の等価的な壁となり、共振の Q 値は理想的には無限大となる。このため、ヘルムホルツ共鳴器 10 中の空気が共振させられて、図中に矢印で示すように、共振放射部から十分な音圧の音響が共振放射される。

そして、ヘルムホルツ共鳴器 10 における開口ポート 11 およびネック 12 内の空気等価質量の調整により、この共振周波数 f_{op} を所望の周波数帯域に設定し、かつ、開口ポート 11 およびネック 12 の等価抵抗の調整により共振の Q 値を適正レベルに設定することにより、開口ポート 11 から適切なレベルの音圧が得られることを条件として、例えば第 2 図のような音圧の周波数特性を得ることができる。なお、図中の点線特性は、振動

器自体の周波数特性の一例を示している。

以下、この事情を第 3 図および第 4 図の等価回路で説明する。

第 3 図は第 1 図 (b) をより簡素にした電気的等価回路である。言い換えれば、共振器 10 の空洞の等価抵抗 r_c と、開口ポート 11 およびネック 12 の等価抵抗 r_g は十分に小さく、従ってその逆数分は極めて大きいので、これらを無視した等価回路図である。第 3 図において、1 は回路を流れる電流とし、 I_1 および I_2 はそれぞれ並列共振回路 Z_1 および直列共振回路 Z_2 を流れる電流であるとするとき、 $Z_3 = Z_v - Z_0$ としたときに、次の (2) ~ (4) 式が成り立つ。

$$E_v = E_0 \cdot \{Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)\} / \{[Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)] + Z_3\} \quad \dots (2)$$

$$I_1 = E_0 \cdot \{Z_2 / (Z_1 + Z_2)\} / \{[Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)] + Z_3\} \quad \dots (3)$$

$$I_2 = E_0 \cdot \{Z_1 / (Z_1 + Z_2)\} / \{[Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)] + Z_3\} \quad \dots (4)$$

ここで、(3)、(4) 式を簡単にするために、

— 1 1 —

$Z_4 = Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)$ とすると、上記の (3) 式は

$$I_1 = E_0 / \{Z_1 (1 + Z_3 / Z_4)\} \quad \dots (5)$$

となり、(4) 式は

$$I_2 = E_0 / \{Z_2 (1 + Z_3 / Z_4)\} \quad \dots (6)$$

となる。

この (5)、(6) 式より、次の 2 点が理解できる。第 1 は、 Z_3 の値がゼロに近づけば、それだけ振動器側の並列共振回路 Z_1 のみならず共振器側の直列共振回路 Z_2 は、交流的には短絡された状態に近づくことである。第 2 は、直列共振回路 Z_2 が $Z_3 = Z_v - Z_0$ を介して並列共振回路 Z_1 から影響を受ける関係にあり、この Z_3 の値がゼロに近づけば、それだけ直列共振回路 Z_2 は並列共振回路 Z_1 に対して、独立性を強めることである。そして、理想的には、

$$Z_3 = Z_v - Z_0 = 0$$

と仮定すると、式 (5)、(6) はそれぞれ

$$I_1 = E_0 / Z_1 \quad \dots (7)$$

$$I_2 = E_0 / Z_2 \quad \dots (8)$$

— 1 3 —

— 1 2 —

となり、直列共振回路 Z_2 は並列共振回路 Z_1 と共に交流的にゼロインピーダンスで短絡され、かつ直列共振回路 Z_2 は並列共振回路 Z_1 から全く独立した共振系とみなすことができる。

第 4 図に、 $Z_0 = -Z_v$ としたとき、すなわち、 $Z_3 = Z_v - Z_0$ としたときの第 3 図の等価回路を示す。

まず、ヘルムホルツ共鳴器 10、開口ポート 11 およびネック 12 によるヘルムホルツ共振系を検討する前提として、振動器 20 による共振系について、より厳密に考察してみると、等価モーションナルインピーダンスによる並列共振回路 Z_1 は、両端が交流的にゼロインピーダンスで短絡されている。従って、この並列共振回路 Z_1 は、実質的には、もはや共振回路ではなくなっている。すなわち、振動器 20 の変換器 22 は駆動信号入力に対してリアルタイムで線形応答し、全く過渡応答することなく、電気信号 (駆動信号) を忠実に電気機械変換し、振動板 21 を変位させることになる。また、この振動器 20 においては、単に

ヘルムホルツ共鳴器 10 に振動器 20 を取付けた状態で有していた最低共振周波数 f_0 という概念がもはやなくなっている。この振動器 20 による並列共振回路 Z_1 は、その両端をゼロインピーダンスで交流的に短絡されているのであるから当然である。(以後、振動器 20 の最低共振周波数 f_0 相当値と言う場合には、実質的には無効化されてしまった上記概念を仮に呼ぶにすぎない。) さらに、振動器 20 とヘルムホルツ共鳴器 10 は互いに無関係であり、しかも、振動器 20 と開口ポート 11 も無関係であり、このためヘルムホルツ共鳴器 10 の容積の大小や開口ポート 11 の内径の大小やネック 12 の長さなどとは全く無関係に(ヘルムホルツ共鳴系の等価モーシオナルインピーダンスとは全く無関係に)機能する。

また、この並列共振回路 Z_1 は直列共振回路 Z_2 と無関係に独立して並存している。従って、システムを小形化するためにヘルムホルツ共鳴器 10 を小容積に設計したときにも、また後述のようにヘルムホルツ共鳴系の Q 値を下げるために開

- 15 -

まず、このヘルムホルツ共鳴器 10 の駆動について説明する。変換器 22 に流れる電流 I は、前述の (7)、(8) 式より、

$$I = I_1 + I_2 \\ = (1/Z_1 + 1/Z_2) E_0 \quad \dots (9)$$

となるが、共鳴器の共鳴周波数 f_{op} 付近(ヘルムホルツ共鳴をしている状態)においては、 $Z_2 \rightarrow 0$ になり(但し、実際には抵抗分によりダンピングされている)、一方、変換器 22 の振動板 21 の最低共振周波数 f_0 相当値は開口ポート 11 の共鳴周波数 f_{op} より高いから、共鳴周波数 f_{op} 付近においては Z_1 の値は十分に大きくなっている。このため、(9) 式は

$$I \approx I_1 + I_2 \approx I_2$$

となり、変換器 22 に流れる電流の大部分は、ヘルムホルツ共鳴器 10 の駆動のために寄与していることになる。また、 $Z_2 \rightarrow 0$ となっているためヘルムホルツ共鳴器 10 は大電流かつ小振幅電圧で駆動されることになり、これと並列な変換器 22 も同様に小振幅電圧で駆動されることになり、

- 17 -

ロポート 11 およびネック 12 を細長く設計したときにも、この並列共振回路 Z_1 すなわちユニット振動系の設計は何らヘルムホルツ共鳴器側へ影響を及ぼさない。このため、相互依存条件にとらわれない容易な設計が可能になる。

別の見方をすれば、このユニット振動系は実効的には共振系でなくなっているため、駆動信号入力がゼロボルトならば、振動板 21 は実質的にはヘルムホルツ共鳴器 10 の壁の一部になってしまうともいえる。

さらに別の見方をすれば、この発明の音響装置では、共振系はヘルムホルツ共鳴系のみ一つになってしまうことである。(第 29 図、第 31 図に示す従来の装置では、ヘルムホルツ共鳴系以外に振動器自体が別の共振系を形成しており複数個存在する。)

さて、ここで、上記の第 4 図を参照して、ヘルムホルツ共鳴器 10、開口ポート 11 およびネック 12 による共振系(ヘルムホルツ共鳴系)について詳しく検討する。

- 16 -

従って振動板 21 は小振幅動作となる。ここにおいて、振動板 21 が小振幅動作である点は、ダイナミック・コーン・スピーカなどの大振幅動作にありがちな非線形な歪を、減少させる効果が大い。特に重低音域において顕著になる。

次に、ヘルムホルツ共鳴器 10 の共鳴周波数について説明する。この共鳴周波数とは、すなわち直列共振回路 Z_2 の共振周波数のことであるが、これは、前述の (1) 式から明らかなように、開口ポート 11 の断面積 S とそのネック 12 の長さ l とを調整することにより共鳴器 10 の空洞の体積 V に無関係に任意設定できる。(もちろん体積 V を含んで調整することも可能である。)

次に、ヘルムホルツ共鳴器 10 が形成する直列共振回路 Z_2 の共振の Q 値について説明する。この直列共振回路 Z_2 の両端は交流的にゼロインピーダンスで短絡されているため、

$$(\text{負荷抵抗}) / (\text{共振インピーダンス})$$

として表わされる Q 値は第 4 図の等価回路では Q 値は無限大になる。第 1 図の等価回路に基づいて

- 18 -

共振のQ値を正確に算出すると

$$Q = (m_g S_C)^{1/2} / (r_C + r_g)$$

となるが、通常 r_C 、 r_g は極めて小さく、これをゼロとみなせば、やはり同様の結果となる。

すなわち、この発明によれば、共振器10の共振のQ値が従来に比べて格段に大きくなるということであり、これは共振器10の音響放射能力の余裕度を極めて大きくしているとも見れる。

一般に、ヘルムホルツ共振器10等の共振Q値を必要に応じて低下させる制御は容易にできる。例えば、ヘルムホルツ共振器10を小形化する場合、開口ポート11の共振系の共振周波数 f_{op} を低くすることは、前述の(1)式

$$f_{op} = c (S / l V)^{1/2} / 2\pi$$

において、開口ポートの断面積 S を小さくし、あるいはネックの長さ l を大きくすることにより実現される。このことは、この発明の音響装置では、小形化してかつ重低音再生しようと設定すること自体が、Q値を適度に下げる要素となることを意味するのである。すなわち、開口ポート11を細

長くすることは、空気摩擦による機械抵抗(音響抵抗)を大きくすることであり、従って、第1図(b)の等価回路において A^2 / r_g を小さくすることになるので、ヘルムホルツ共振器10および開口ポート11側の直列共振回路 Z_g のQ値は低下し、結果として適度にダンピング特性が向上する。この点は、第29図、第31図に示す従来装置において装置を小形化すると共振系としてのQ値が極度に小さくなり、ついには音響放射能力が失われてしまっていたことと比較すると、極めて好対照といえる。

また、その他に、ヘルムホルツ共振器10内に吸音材などを入れることによって A^2 / r_g を小さくし、Q値を所望に制御することもできる。そして、いずれの場合でも、共振器(キャビネット)の小形化という条件の下で、上記のようにヘルムホルツ共振系のQ値を制御しても、ユニット振動系には何ら影響が及ばない。

このように共振周波数、共振Q値が単独設定されたヘルムホルツ共振器10は、もはやユニット

- 19 -

振動系とは全く独立して仮想スピーカと見なすべきである。そして、この仮想スピーカは、開口ポート径に相当する小口径で実現されるにもかかわらず、その低音再生能力から見ると現実のスピーカとしては極めて大口径のものに該当し、寸法効率あるいは音源集中化には極めて大きい効果を奏する。当然、実際のスピーカを使わなくて済むから、その意味でのコスト効率も極めて大きい。また、この仮想スピーカには現実の振動板は存在せず、しかも空気のみで構成される振動板であり、極めて理想的なものといえる。

以上の説明から明らかなように、この発明によれば共振器の共振のQ値が極めて大きく(理想状態に近ければ $Q \rightarrow \infty$) となり、また、この共振器は実際には振動板の変位によって駆動されるものの、等価回路的には振動器と全く並列的にかつ独立して駆動源から駆動エネルギーが供給されているものとみなせ、共振器と振動器との相互依存条件等を全く考慮することなく設計が可能であり、さらには共振器の容積も振動器側には全く影響を与え

- 20 -

ないので、共振器の共振周波数をその容積に依存しない形で独自設定することにより、小形でかつ十分な音圧の重低音再生が可能となるのである。例えば、第2図に示すような音圧の周波数特性を容易に、しかも小形化された装置(キャビネット)で実現することができる。

なお、以上の基本構成の説明では、理想的状態として

$$Z_g = Z_v = Z_0 = 0$$

と仮定して説明したが、本質的には

$$0 \leq Z_g < Z_v$$

とすることでこの発明の効果が十分に得られる。

すなわち、振動器が共振器駆動時に共振器側から受ける反作用を少しでも打ち消すように駆動してやれば、それなりに効果を生じるのである。なぜなら、ユニット振動系の振動板がヘルムホルツ共振器の壁面と化す程度は、共振器側からの反作用によって該振動板が勝手に駆動される度合に関係し、反作用打ち消しの効果は、 Z_g の値が減少するに従って増加するからである。従って、例え

- 21 -

- 22 -

ば動電形スピーカにおいて、ボイスコイルの内部抵抗値が 8Ω であるときには、 -4Ω の等価負性抵抗を生成して見掛け上は抵抗値を 4Ω とすることで、ヘルムホルツ共鳴器からは十分に満足できる低音再生を実現できる。

また、負性インピーダンスを大きくし過ぎることにより、 $Z_g = Z_v - Z_0$ の値を負にするようなことは好ましくない。なぜなら、 Z_g が負になると回路は、負荷を含め全体として負性抵抗性となり、発振を生じるからである。従って、内部インピーダンス Z_v の値が動作中の発熱などで変化するときには、これに応じて負性インピーダンスの値をあらかじめ余裕をもって設定しておくか、温度変化に応じて負性インピーダンスの値を変える(温度補償する)必要がある。

なお、ユニット振動系の共振のQ値について付言しておく、共鳴器からの反作用を打ち消すようにこの振動系が駆動されるということは、実質的にこの振動系中の固有の内部インピーダンス Z_v が無効化されていることになるから、その場

合、並列共振系において、

(負荷抵抗) / (共振インピーダンス)

として表されるQ値は、並列共振回路 Z_1 についてはゼロになる。ユニット振動系で $Q=0$ になるということは、等価的に並列共振回路 Z_1 をなす振動器20が、入力電圧 E_v と並列共振回路 Z_1 の抵抗分 A^2/r_0 で決定される $E_v/(A^2/r_0)$ なる電流源で駆動されるスピーカになることである。電気的にみて電流駆動領域にあるということは、機械的には速度駆動領域にあるということであり、このスピーカの最低共振周波数 f_0 。相当値近傍の音波の周波数特性は、 6dB/oct となる。これに対して、通常の電圧駆動状態の特性は、 12dB/oct となる。

別の観点でいえば振動板21は完全な制動状態になることである。すなわち、振動板21を駆動したことによる反作用に対しては、駆動電流が増減することにより、この反作用に対抗すべく制御がなされる。従って、例えば振動板21に外力が加わった場合でも、その瞬間にこの外力と均衡す

- 23 -

る状態まで逆駆動力が働くのである。(アクティブサーボ)。

次に、これまで第1図ないし第4図で説明した基本構成において、適用可能な各種の態様を説明する。

まず、共鳴器については、第1図(a)のものに限られない。例えば、空洞部の形状は球形に限らず立方体、立方体等としてもよく、また、その容積についても特に限定されことなく、かつユニット振動系とは独立に設計できる。このため、小容積としてキャビネットを小形化することができる。また、共鳴放射部をなす開口ポートおよびネックについても、断面形状などは限定されず、例えば音道は第1図(a)のように外部に突出する形態でも良いし、また空洞内に収容する形態としてもよい。さらに、特にネック12を設けず、単なる開口の存在のみであってもよい。さらに開口は複数個に分散されていてもよい。さらに、共鳴周波数 f_{op} は開口ポートの断面積とネック長さとの相関関係の下で、適宜に設定してもよい。さ

- 24 -

らに、開口ポートの断面積をネックの長さとの関係において適宜設定できるので、ポートの開口を小さくすることにより低域用の仮想スピーカを小口径にでき、音圧を集中させて定位感を高めることができる。

振動器(電気音響変換器)については、第5図ないし第12図に示すように、大別すると動電形、電磁形、圧電形および静電形など各種の形のを適用することができる。

動電形スピーカ(ダイナミックスピーカ)の振動板の態様は、第5図ないし第7図に示すように、コーン形、ドーム形、リボン形、全面駆動形およびハイルドライバ形がある。コーン形ダイナミックスピーカは第5図に示すように、振動板として円錐形状のコーン101を有し、このコーン101の円錐頂部近傍にはボイスコイル102が固定される。そして、このボイスコイル102は磁気回路103に形成された磁気ギャップ中に挿入されている。なお、このコーン形ダイナミックスピーカでは、非モーショナルインピーダンス成

分は主に抵抗として現れる。第6図に示すドーム形ダイナミックスピーカでは、振動板がドーム104となっている点を除けば、第5図のコーン形ダイナミックスピーカと基本的には同一である。

リボン形ダイナミックスピーカは、第7図のように、磁気回路103の磁気ギャップ中にリボン振動板105を配設して構成される。この形のものでは、駆動電流をリボン105の長手方向に流すことにより、前後(図面において上下)に振動して音波を発生させる。従って、リボン105がボイスコイルと振動板を兼ねている。なお、これについても非モーショナルインピーダンス成分は主に抵抗として現れる。

全面駆動形ダイナミックスピーカは、第8図のように、音波を放射するための開孔103を有する磁石板103、103を平行に配設し、この間にボイスコイル102付きの振動膜106を配設して構成される。ここで、磁石板103は磁力線が振動板106とほぼ平行になるように着磁され、またボイスコイル102は振動膜106上に

渦巻き状に固定されている。

第9図に示すハイルドライバ形ダイナミックスピーカについても、ボイスコイル102は振動膜106上に配設されている。すなわち、振動膜106は蛇腹状に構成され、ここにボイスコイル102がジグザグに固着されている。これによれば、ボイスコイル102に駆動電流を流すことにより振動膜106の蛇腹は交互に伸縮し、音波が放射される。そして、このスピーカにおいても非モーショナルインピーダンス成分は主に抵抗として現れる。

電磁形スピーカとしては、第10図のようなものがある。図示のように、振動自在に配設された振動板106は磁性体を含んで構成され、この近傍にはコイル107を巻回した鉄心108が設けられる。ここにおいて、コイル107に駆動電流を流せば、鉄心108からの磁力線により振動板106は振動させられ、図中の上下方向に音波が放射される。なお、この形のスピーカにおいても、非モーショナルインピーダンス成分は主に抵抗と

- 27 -

して現れる。

圧電形スピーカとしては、第11図に示すようなものがある。図示のように、支持体110には電歪効果により振動するパイモルフ111の両端が固定され、この中心部には振動棒112が立設して固定される。そして、この振動棒112の先端は支持体110に固着された振動膜113の、ほぼ中心部に当接している。このスピーカでは、電歪効果によってパイモルフ111が屈曲し、これによって中心部が上下に振動すると、これが振動棒112を伝わって振動膜113に伝えられる。従って、駆動電流に応じて振動膜113を振動させ、音波を放射することができる。なお、このスピーカでは非モーショナルインピーダンス成分は、主として静電容量などとして現れる。

静電形スピーカとしては、第12図に示すようなものがあり、一般には、同図(a)のものがシングルタイプコンデンサ形と呼ばれ、同図(b)のものがプッシュプルタイプコンデンサ形と呼ばれる。同図(a)において、振動膜121はメッ

- 28 -

シュ状の電極122と近接して並設され、これにバイアスEを重畳した入力信号が与えられる。従って、静電効果により振動膜121を振動させ、音波を放射できる。このとき、振動膜121の振動により変位電流のリアクションがあるので、これを利用して負性インピーダンス(容量)を等価的に生成できる。同図(b)については、振動膜121が2枚のメッシュ状の電極122に挟まれている。動作原理については同図(a)と同様であり、また非モーショナルインピーダンス成分についても主に静電容量として現れる。

共鳴器からの反作用を打ち消すように振動器を駆動するための振動器駆動手段における負性インピーダンス発生手段については、第13図ないし第21図に示すように各種のものがある。

第13図は、その基本構成を示している。図示のように、利得Aの増幅回路131の出力をスピーカ132による負荷 Z_L に与える。そして、この負荷 Z_L に流れる電流 i を検出し、伝達利得 β の帰還回路133を介して増幅回路131に正帰

- 29 -

- 30 -

還する。このようにすれば、回路の出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = Z_S (1 - A\beta) \quad \dots (10)$$

として求められる。この(10)式から $A\beta > 1$ とすれば Z_0 は開放安定形の負性インピーダンスとなる。ここで、 Z_S は電流を検出するセンサのインピーダンスである。

第14図は、電流 i の検出をスピーカ132の接地側に設けた抵抗 R_S により行なう例である。これによれば、出力インピーダンス Z_0 は前述の(1)式より

$$Z_0 = R_S (1 - A\beta)$$

となるので、 $A\beta > 1$ とすれば、見掛け上の負性抵抗成分を出力インピーダンス中に含ませることができる。なお、このような回路に相当する具体例は、例えば特公昭59-51771号などに示されている。

第15図は、電流 i の検出をスピーカ132の非接地側に設けた抵抗 R_S により行なう例である。この例によっても、出力インピーダンス Z_0 に負

性抵抗成分を含ませることができる。なお、このような回路の具体例は、例えば特公昭54-33704号などに示されている。第16図は

BTL接続にしたもので、図中の134は反転回路である。この回路においても、出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = R_S (1 - A\beta)$$

となる。

第17図は、電流プローブによって電流 i を検出する例である。すなわち、電流 i は線路に周囲磁場を形成するので、これを電流プローブ135で検出し、帰還回路133を介して増幅回路131に帰還するものである。

第18図は、帰還回路133に積分器を用いた例である。すなわち、インダクタンス L の両端電圧を積分して検出することにより、抵抗検出と同等のことは行なうことができる。この回路によれば、DC近傍では抵抗 R_S を用いたときよりも低損失にできる。

第19図は、帰還回路133に微分器を用いた

- 31 -

例である。すなわち、キャパシタンス C の両端電圧を微分して検出することにより、抵抗検出と同等のことができる。但し、この回路ではスピーカ132の駆動系にキャパシタンス C が介在されるため、直流成分の駆動信号がカットされる問題がある。

以上、説明した例は、出力インピーダンス Z_0 に負性抵抗を等価的に含ませるものであり、動電形あるいは電磁形の電気音響変換器を用いたときに適用される。これに対して、圧電形あるいは静電形の変換器(スピーカ)を用いたときには、非モーションナルインピーダンス成分はキャパシタンスである。従って、出力インピーダンス Z_0 には負性容量を等価的に含ませることが必要になる。第20図はその一例の回路図で、スピーカ132は静電形あるいは圧電形のスピーカである。このスピーカ132の接地側のキャパシタンス C の両端は、帰還回路133に接続されている。この例によれば、出力インピーダンス Z_0 は前述の(10)式より

- 32 -

$$Z_0 = C (1 - A\beta)$$

となる。

非モーションナルインピーダンス成分としてインダクタンスを含む電気音響変換器を用いるときには、等価負性インダクタンスを出力インピーダンス Z_0 に含ませることが必要になる。また、動電形スピーカなどでは非モーションナルインピーダンス成分として、抵抗のほかにインダクタンスもある程度は含んでいるので、このインダクタンス成分も無効化したいときには、負性インダクタンスの生成が必要になる。第21図はその一例の回路図である。図示のように、スピーカ132の接地側のインダクタンス L の両端は、帰還回路133に接続されている。この例によれば、出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = L (1 - A\beta)$$

となる。

次に、この発明の実施例について、順次に説明する。

第22図は、キャビネットに動電形スピーカを

適用した実施例の構成図である。図示のように、ヘルムホルツ共鳴器としてのキャビネット41の後面(図中の左面)には穴がけられ、ここに動電形スピーカ42が取り付けられている。スピーカ42は円錐形状(コーン状)の振動板43と、その円錐頂部近傍に設けられた動電形変換器44により構成される。また、キャビネット41の前面(図中の右面)側には開口ポート45が突出したネック48に形成され、これがこの発明における音響放射体としての共鳴器を形成している。駆動回路46は負性抵抗駆動用のサーボ回路47を有し、この出力で動電形変換器44が駆動される。

ここで、動電形変換器44はボイスコイル直流抵抗 R_v を有し、これに対し駆動回路46は出力インピーダンス中に等価負性抵抗成分($-R_v$)を有し、従って、これにより抵抗 R_v が実質的に無効化でき、もって、振動器は共鳴器からの反作用を打ち消すべく駆動されるようになる。また、 R_M 、 L_M 、 C_M はそれぞれスピーカ42を電気的に等価表現したときのモーショナルインピーダ

ンスである。一方、キャビネット41の容積を V とし、開口ポート45の断面積を S 、そのダクトのネック48の長さを l とすると、その共鳴周波数 f_{op} は前述の(1)式のように、

$$f_{op} = c(S/lV)^{1/2} / 2\pi$$

で求められる。

第22図に示す実施例の等価的動作構成は、第23図のようになる。すなわち、開口ポート45によって等価的に形成される仮想のスピーカ45'は、容積が無限大の密閉形キャビネット41'に取り付けられたのと等価となる。そして、スピーカ41'は等価的に形成された低域通過フィルタ(LPF)48を介して、通常の(アクティブサーボ駆動をしない)アンプ49に接続されている。仮想スピーカ45'の共振周波数 f_{op} は開口ポート45とダクトのみによって定まり、そのときの共振のQ値は自在に制御することができる。

以上の説明から明らかなように、この第22図および第23図に示す実施例によれば、仮想スピー

— 35 —

ーカが開口ポート45およびダクトにより等価形成される。そして、これらは容積が無限大の密閉形キャビネットに取り付けたのと等価になるので、極めて優れた低音再生特性が実現される。そして、スピーカユニットの仕様とキャビネットの仕様は、互いに制約されることなく自由に設計できるので、キャビネットを小形化することも全く問題なくなりかつキャビネットが形成する共鳴体の共鳴周波数もキャビネットの容積以外で設定でき、システムを従来のあらゆるスピーカシステムに比べて著しく小形化できる。具体的には、ヘルムホルツ共鳴器の容積を3.5リットルとしたときに、第24図に示すような、優れた音圧の周波数特性が得られた。

この仮想スピーカは、その仮想振動板の変化速度に関し、第23図に示されるような等価フィルタ48を介してアンプ49に接続されていることになる。

なお、再生音圧が十分でない帯域については、入力信号のレベルをアンプ側で増減設定すること

— 36 —

により、容易に制御することができる。

第25図は、この発明の他の実施例を示している。図示の通り、ヘルムホルツ共鳴器は第1および第2の共鳴器51a、51bからなり、これらはそれぞれ開口ポート52a、52bを有している。そして、共鳴器51a、51bの間の仕切壁53には穴がけられ、ここに動電形スピーカ54が取り付けられている。そして、スピーカ54は負の出力インピーダンス($-R_v$)を等価的に有する駆動制御装置30によって動作させられ、第1および第2の共鳴器51a、51bからのそれぞれの反作用に影響されずその振動板は等価的にこれら共鳴器の壁面の一部となる。この例では、各ヘルムホルツ共鳴系A、Bはそれぞれ別個の共鳴周波数 f_{opa} 、 f_{opb} を持っている。

次に、この発明の発明者が試作したいくつかの実例を説明する。

第26図は、1個の動電形コーンスピーカを用いて、等価的に仮想スピーカシステムを構成したときの駆動回路の回路図である。同図において、

— 37 —

— 38 —

負の出力インピーダンス Z_0 は

$$\begin{aligned} Z_0 &= R_s (1 - R_b / R_s) \\ &= 0.22 (1 - 30 / 1.6) \\ &= -3.9 (\Omega) \end{aligned}$$

となる。すなわち、第26図の回路では、等価的な出力インピーダンスが第27図に示すようになっている。

第28図は、低歪率の負性抵抗パワーアンプの回路例である。同図中、点線で囲んだA部分が、第14図及び第24図等に示す検出抵抗 R_s であり、図中の点線で囲んだB部分が、この検出電流値に相当する電圧を再び電流化して、入力側に帰還させる部分であり、第14図中の回路133等に相当する。電圧電流変換をする理由は、検出部と入力帰還部との接地電位差の影響を受けないようにするためである。この回路では、出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = R_s (1 - R_f / R_y)$$

となる。従って、 $R_f = 30 \text{ k}\Omega$ であるので、 $R_y < 30 \text{ k}\Omega$ のときに、出力インピーダンス

- 39 -

【発明の効果】

以上、詳細に説明した通り、この発明によれば、振動板は等価的に共鳴器の壁となり、振動器の内部インピーダンスが共振のQ値の低下の要因とはなくなる。このため、共振のQ値を極めて高くできることになる。また、共鳴器と振動器とは全く独立した存在となり、共鳴器の共鳴周波数は共鳴器の容積以外で設定可能であるから該共鳴器を小形化することも容易であり、さらに共鳴器を小形化し、かつ共鳴周波数を低くすることにより、共鳴器としての音響抵抗が大きくなって通常の駆動方式では共振のQ値が非常に小さくなるような場合でも、この発明では振動器により共振のQ値の低下はないので、結果としての共振のQ値は十分に高い値に維持することができ、共鳴器として十分な音響放射能力を確保することができる。

以上のことから、共振音響の放射能力の向上と、共鳴器の小形化とを同時に達成することが可能になる。

また、この発明の音響装置はオーディオ用スピ

Z_0 中に等価的な負性抵抗分を含ませることができ。

更に本発明者は、この発明の音響装置と、従来の装置との効果の比較に関し、次のような結果を得た。

まず、この発明に従った音響装置としては、ヘルムホルツ共鳴器の空洞の容量を6リットルとし、開口ポートの内径を3.3cmとし、そのネック長を25cmとした。そして、動電形コーンスピーカを取り付けて負性抵抗駆動を行なったところ、 $f_{op} = 41$ ヘルツまでの重低音再生ができた。これに対し、負性抵抗駆動等をしていない従来の装置では、動電形コーンスピーカとして $f_0 = 50$ ヘルツ、 $Q = 0.5$ 、口径20cmのものを用いたときには、キャビネットの容量を176リットルとしたときに、 $f_{op} = 41$ ヘルツまでの再生が可能となった。従って、同一程度の重低音再生において、キャビネットの容量を1/30倍程度にできることが判明した。

- 40 -

ーカシステム以外にも、電子楽器、電気楽器等の発音体あるいは他の発音体として幅広く応用できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、この発明の一実施例の基本構成を説明する図、

第2図は、音圧の周波数特性図、

第3図は、第1図(a)の電気的等価回路図、

第4図は、第3図の Z_0 をゼロとしたときの等価回路図、

第5図ないし第9図は、動電形スピーカのいくつかの例を説明する図、

第10図は、電磁形スピーカの例を説明する側面図、

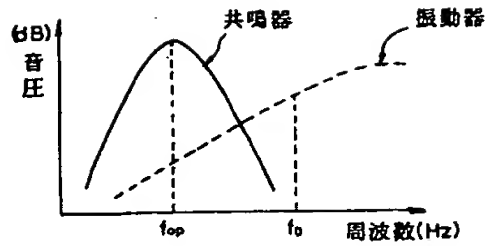
第11図は、圧電形スピーカの例を説明する断面図、

第12図は、静電形スピーカの例を説明する回路図、

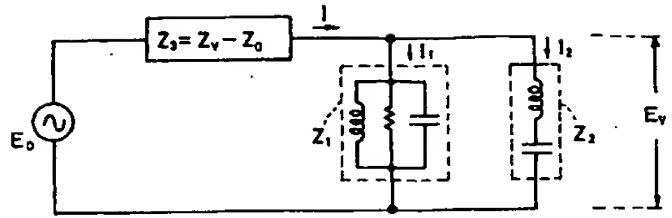
第13図は、等価的に負性インピーダンスを生

- 41 -

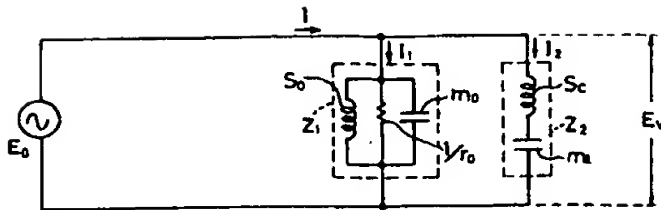
- 42 -



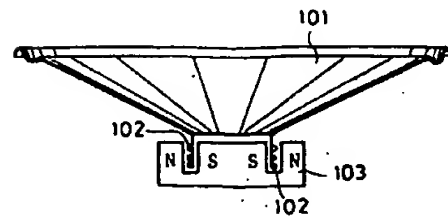
音圧の周波数特性
第 2 図



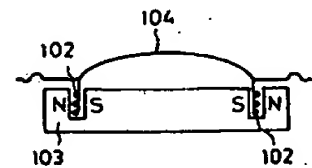
第 1 図(a)の等価回路
第 3 図



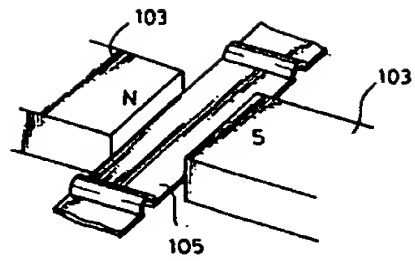
第 3 図の $Z_3 = 0$ とした等価回路
第 4 図



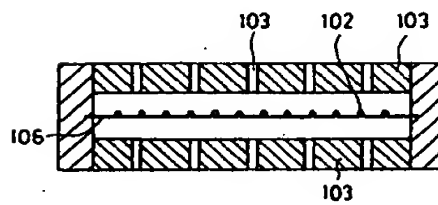
コーン形ダイナミックスピーカ
第 5 図



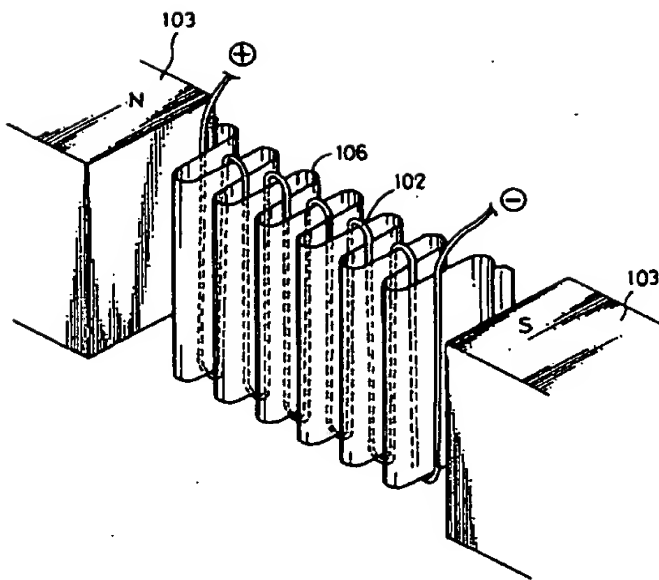
ドーム形ダイナミックスピーカ
第 6 図



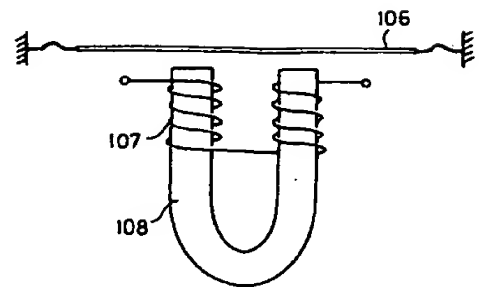
リボン形ダイナミックスピーカ
第 7 図



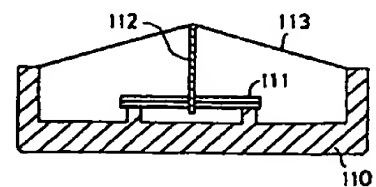
全面駆動形ダイナミックスピーカ
第 8 図



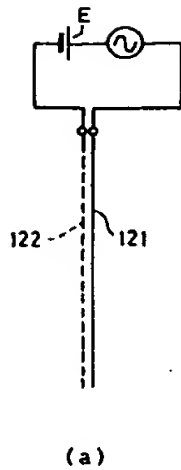
ハイルドライバ形ダイナミックスピーカ
第 9 図



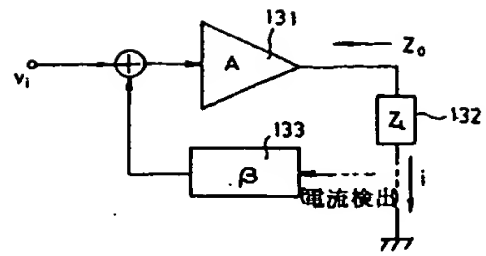
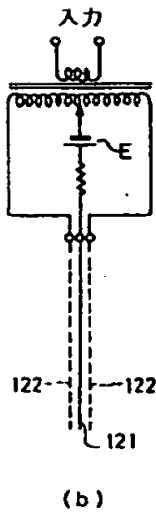
電磁形スピーカ
第 10 図



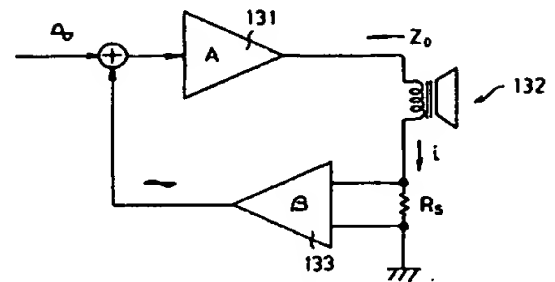
圧電形スピーカ
第 11 図



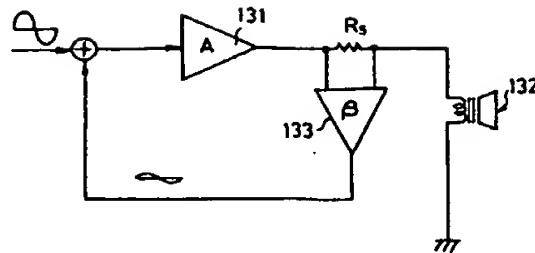
静電形スピーカ
第 1 2 図



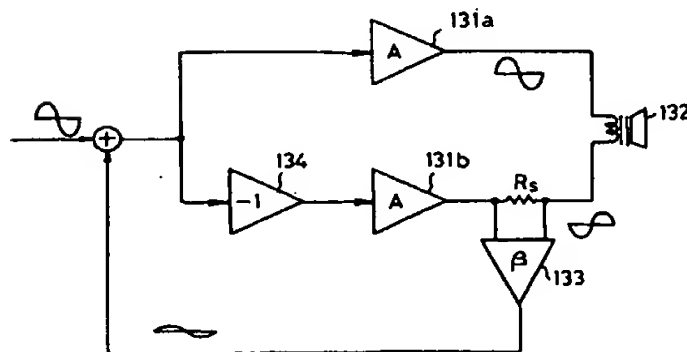
負性インピーダンス生成の基本構成
第 1 3 図



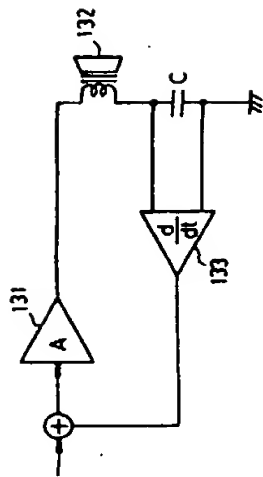
接地側で電流検出する例
第 1 4 図



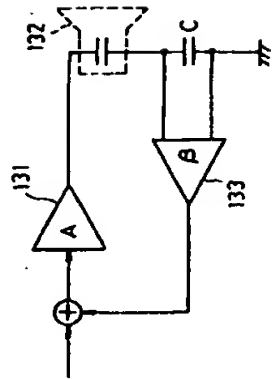
非接地側で電流検出する例
第 1 5 図



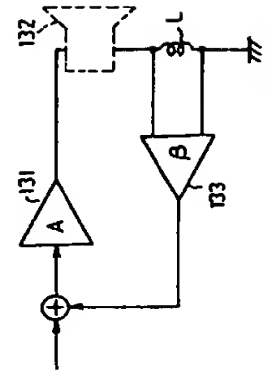
BTL接続の例
第 1 6 図



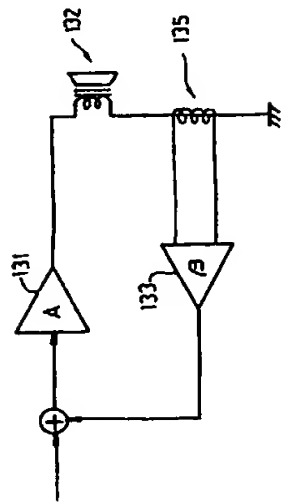
微分器を用いた例
第19図



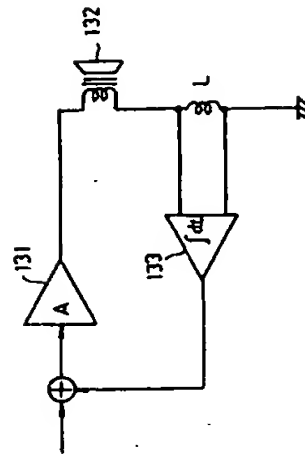
負性キャパシタンスの生成
第20図



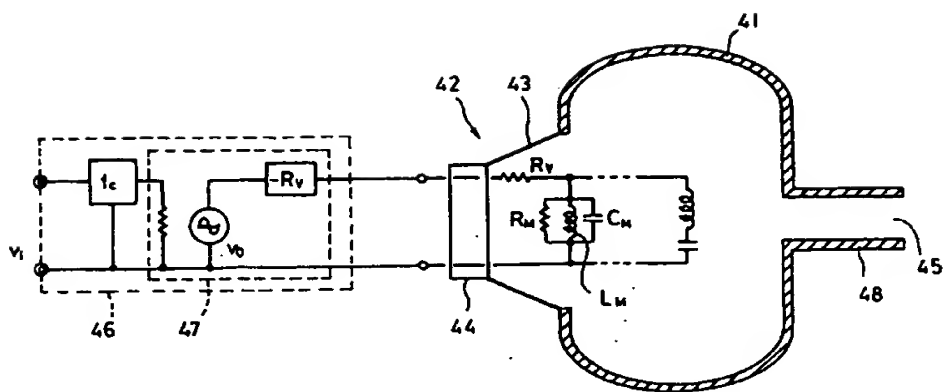
負性インダクタンスの生成
第21図



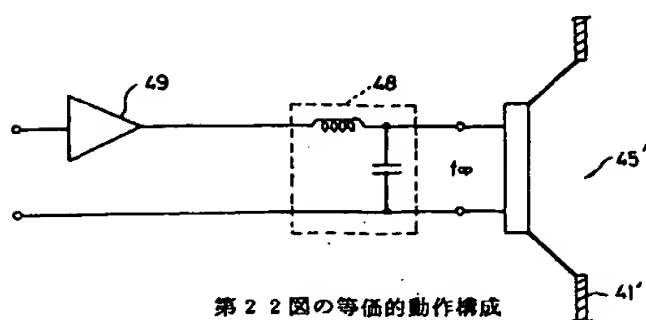
電流プローブにより電流検出する例
第17図



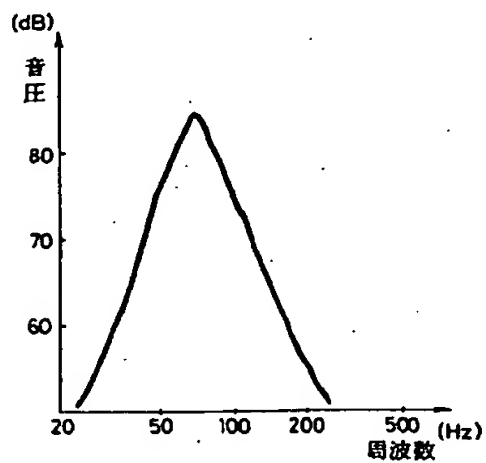
積分器を用いた例
第18図



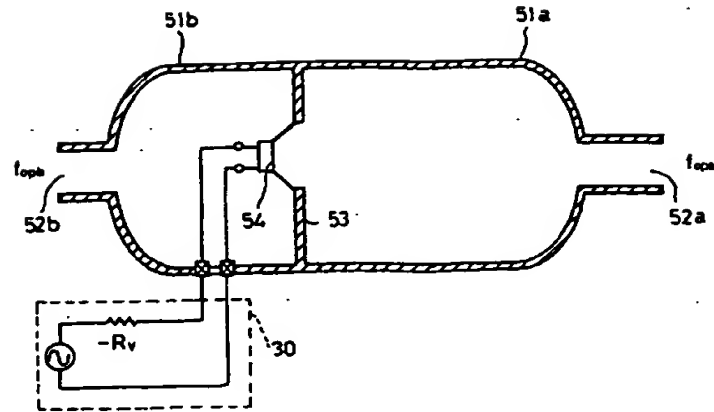
実施例の構成
第 2 2 図



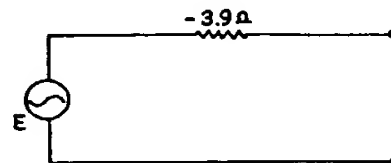
第 2 2 図の等価的動作構成
第 2 3 図



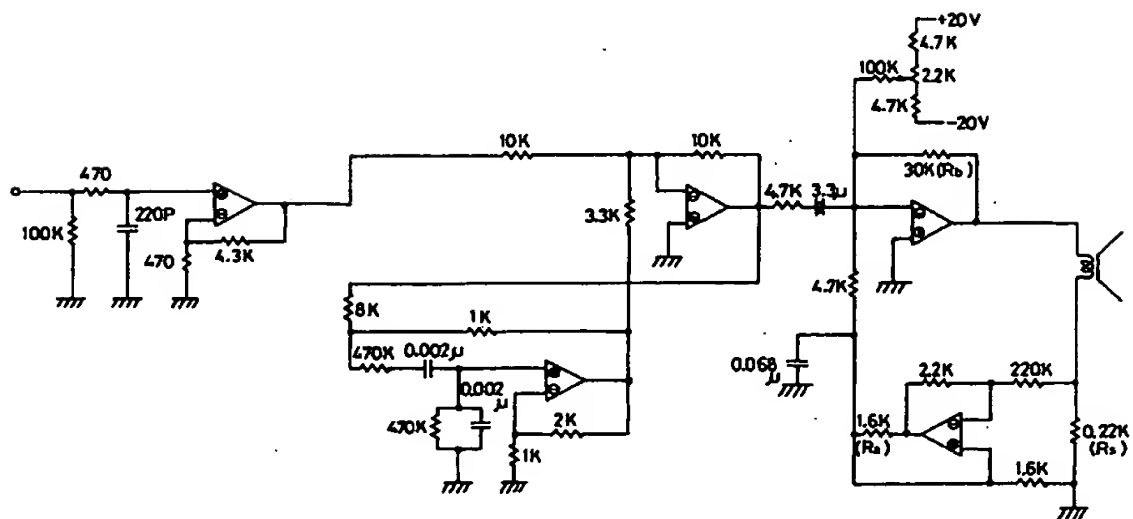
音圧の周波数依存性
第 2 4 図



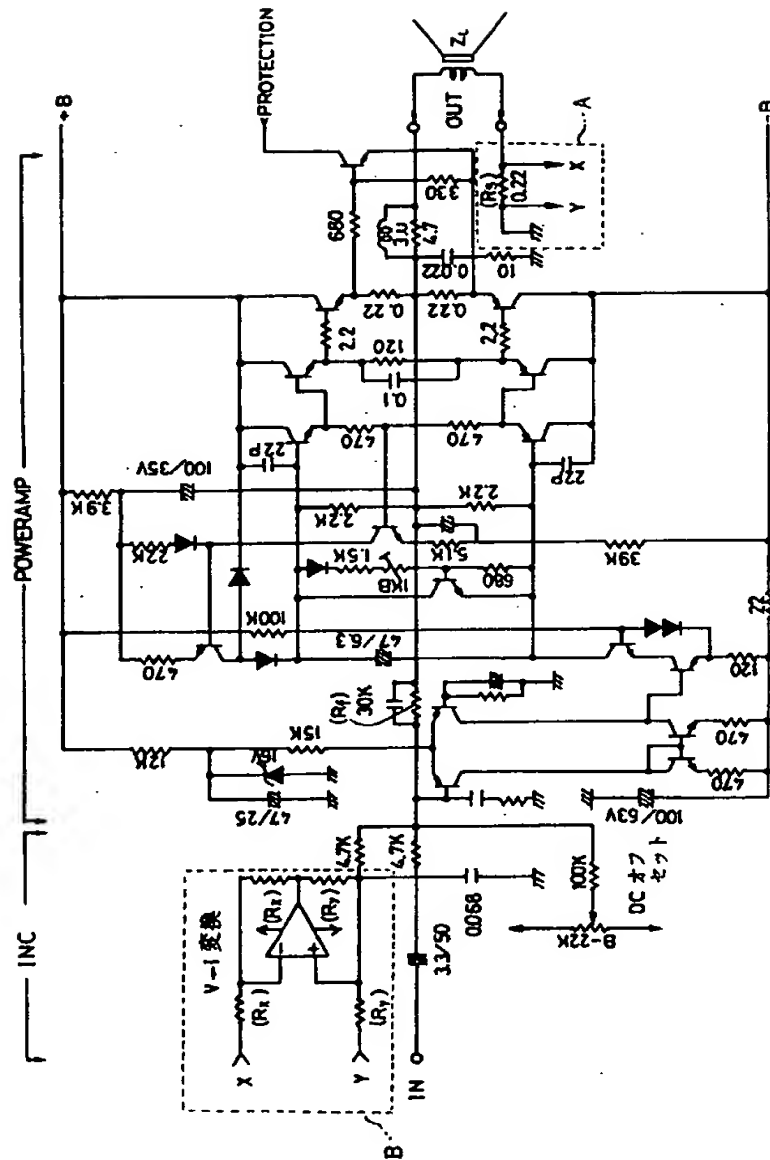
他の実施例の構成
第 25 図



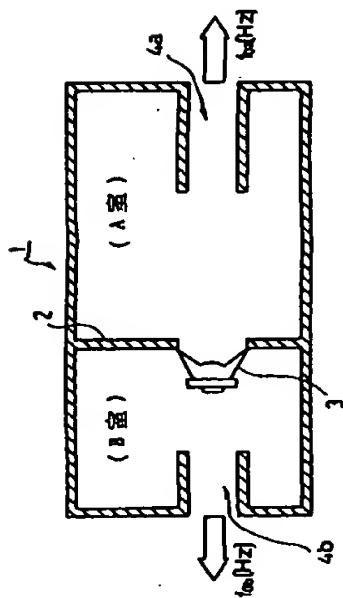
等価出力インピーダンス
第 27 図



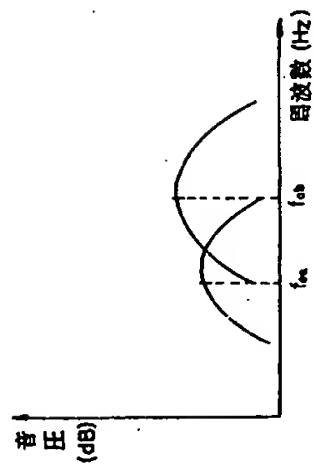
2 ウェイ構成としたときの具体例
第 26 図



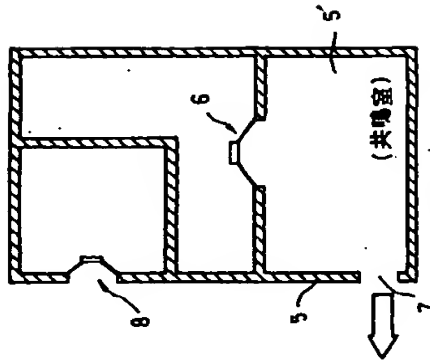
低歪率負性抵抗パワーアンプの例
第 28 図



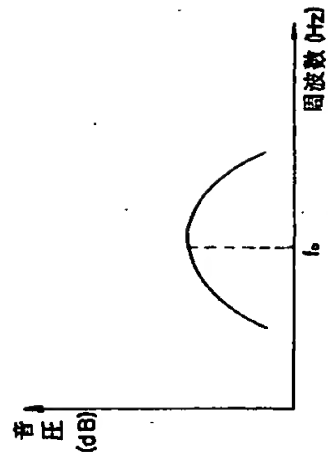
従来の第1の例
第29図



第29図の音圧の周波数特性
第30図



従来の第2の例
第31図



第31図の開口からの音圧の周波数特性
第32図